

بررسی آزمایشگاهی اثر یون آهن و افزایش کاهنده یون آهن بر عملکرد سورفکتانت‌های ویسکوالاستیک

حامد پنجملی زاده^{*}، یاشا آرین فر، غزاله بهرامی، علی متولیان سیدی، حامد جعفری، شرکت مهندسی و خدمات چاه پیمای مهران

چکیده

به کارگیری یک منحرف کننده^۱ مناسب موجب توزیع یکنواخت اسید تزریقی در تمام طول ناحیه‌ی تولیدی می‌گردد. استفاده از ویسکوالاستیک سورفکتانت^۲ یکی از جدیدترین و کارآمدترین روش‌های انحراف جریان است. اما وجود یون فریک که ممکن است در اسید تزریقی حضور داشته باشد تأثیر منفی بر عملکرد ویسکوالاستیک سورفکتانت‌ها دارد. در این پژوهش ابتدا تأثیر یون فریک بر رفتار رئولوژی یک ویسکوالاستیک سورفکتانت بررسی می‌شود. سپس برای اولین بار تأثیر افزایش کاهنده یون آهن^۳ بر بهبود رفتار رئولوژی سیال آلوده شده با یون فریک بررسی می‌گردد. تمامی آزمایش‌های رئولوژی با استفاده از دستگاه دما و فشار زیاد در نرخ برشی ۱۰۰ بر ثانیه و در محدوده دمای ۲۰-۸۰ درجه‌ی فارنهایت روی محلول خنثی شده با کلسیم کلراید انجام شده است. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش وجود یک درصد حجمی افزایشی^۴ یون آهن^۴ می‌تواند اثرات مخرب یون فریک تا ۵۰۰ پی‌پی‌ام را مرتفع کند. اگرچه افزودن ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام یون فریک به شدت گرانبوی سیال ویسکوالاستیک سورفکتانت و همچنین حد دمایی^۵ سیال را از ۲۰۸ به ۱۴۸ درجه‌ی فارنهایت کاهش می‌دهد، افزودن ۱۰ پوند در هزار گالن^۶ کاهنده یون آهن به سیال آلوده شده، حد دمایی سیال را به بیشتر از ۲۲۰ درجه افزایش می‌دهد. این امر همچنین موجب افزایش ۷۱/۲ درصدی گرانبوی نهایی در دمای ۲۲۰ درجه می‌گردد. بنابراین استفاده از مقدار کافی افزایشی کاهنده یون آهن موجب برطرف شدن مشکل حضور یون فریک و همچنین افزایش قابل توجه گرانبوی در دماهای بیشتر از ۱۸۰ درجه‌ی فارنهایت می‌شود. بنابراین به کار بردن مقدار کافی افزایشی کنترل کننده یون آهن باعث بهبود عملکرد منحرف کننده ویسکوالاستیک در غلظت‌های زیاد یون فریک می‌گردد.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۸/۰۳/۰۸

تاریخ ارسال به داور: ۹۸/۰۴/۰۲

تاریخ پذیرش داور: ۹۸/۰۴/۱۵

واژگان کلیدی:

اسیدکاری، یون آهن، سورفکتانت‌های ویسکوالاستیک، کاهنده یون آهن، منحرف کننده جریان

مقدمه

هنگامی که این نوع اسیدها با سنگ سازند واکنش می‌دهند و pH به ۲ می‌رسد کراس‌لینکر وارد عمل شده و مولکول‌های پلیمر را بهم وصل می‌کند که باعث افزایش گرانبوی و ایجاد ماده‌ی ژل مانند می‌گردد [۴-۵]. با ادامه‌ی واکنش اسید و سنگ سازند و رسیدن pH به پنج عامل شکننده، اتصالات ایجاد شده توسط کراس‌لینکر را شکسته و گرانبوی به شدت کاهش می‌یابد. محققان مختلفی معایب اسیدهای ژل‌شونده‌ی پایه‌ی پلیمری را بررسی کرده‌اند که از جمله‌ی این مطالعات می‌توان به وجود ژل شکسته نشده بعد از عملیات و رسوب کراس‌لینکر یون فریک در مخازن حاوی گاز هیدروژن سولفید اشاره کرد [۹-۶].

ویسکوالاستیک سورفکتانت‌ها جهت برطرف کردن مشکلات موجود در اسیدهای ژل‌شونده‌ی پایه‌ی پلیمری به صنعت نفت و گاز معرفی شدند [۱۰]. ویسکوالاستیک سورفکتانت‌ها سیالاتی هستند که به راحتی پس از اتمام عملیات تمیز شده و هیچ باقیمانده‌ای در مخزن به جا نمی‌گذارند. همچنین زمان تمیزسازی چاه‌های اسیدکاری شده با ویسکوالاستیک سورفکتانت‌ها بسیار کمتر از اسیدهای ژل‌شونده‌ی پایه پلیمری است [۱۱]. برخلاف اسیدهای ژل‌شونده‌ی پایه پلیمری، استفاده از ویسکوالاستیک سورفکتانت‌ها هنگام عملیات بسیار آسان‌تر است زیرا تنها از یک افزایش تشکیل شده‌اند.

اسیدکاری گسترده یکی از راه‌های متداول جهت افزایش ضریب تولیدی چاه‌های نفت و گاز است. تزریق اسید به مخازن کربناته با از بین بردن و همچنین دور زدن آسیب سازند توسط ایجاد کانال‌هایی با تراوایی زیاد که گرم راهه^۷ نامیده می‌شوند باعث کاهش ضریب پوسته و افزایش نرخ تولیدی می‌گردد [۱]. اسید به‌طور طبیعی تمایل دارد وارد لایه‌های با تراوایی زیاد گردد. بنابراین اسید وارد لایه‌های با تراوایی کم نمی‌شود. برای برطرف کردن این مشکل، استفاده از یک روش مؤثر و پیوسته‌ی انحراف اسید جهت توزیع یکنواخت آن در تمامی طول ناحیه‌ی تولیدی ضروری است.

روش‌های متفاوت مکانیکی و شیمیایی جهت انحراف جریان اسید در طول سالیان گذشته استفاده قرار شده است. طبق دسته‌بندی هیل و راسن^۸ فوم، ذرات منحرف کننده و اسیدهای ویسکوز از منحرف کننده‌های شیمیایی هستند [۲]. در طول یک عملیات اسیدکاری، با افزایش گرانبوی اسید، سرعت واکنش و همچنین ضریب انتشار^۹ کاهش می‌یابد که منجر به افزایش عمق نفوذ اسید می‌گردد [۳]. بر همین اساس سیالات ویسکوز جهت افزایش عمق نفوذ و انحراف جریان استفاده می‌شوند. پلیمرها و ویسکوالاستیک سورفکتانت‌ها از جمله عوامل ویسکوز کننده هستند. اسیدهای ژل‌شونده‌ی درجا شامل پلیمر حلال در اسید، کراس‌لینکر، عامل شکننده و بافر هستند.

* نویسنده‌ی عهد در مکاتبات (hamed.panjalizadeh@gmail.com)

شو و همکاران^{۱۳} و زبرجاد و همکاران^{۱۴} از افزایش‌ی کی‌لیت‌کننده‌ی یون آهن مثل HEDTA و GLDA جهت برطرف کردن اثرات منفی یون فریک استفاده کردند [۱۷-۱۸]. در تمامی این موارد اثر یون آهن بر سیال حاوی ویسکوالاستیک سورفکتانت بدون حضور سایر افزایش‌ها یا در بهترین حالت در حضور افزایش‌ی ضدخوردگی بررسی شده است. در این پژوهش اثر یون فریک بر سیال ویسکوالاستیک حاوی تمامی افزایش‌های لازم بررسی شده است. همچنین برای اولین بار اثر افزایش‌ی کاهنده‌ی یون آهن بر رئولوژی سیال ویسکوالاستیک و اثر آن در برطرف کردن مشکلات ناشی از حضور یون فریک در شرایط دما و فشار زیاد در محدوده‌ی دمایی ۲۲۰-۸۰ درجه‌ی فارنهایت مطالعه شده است.

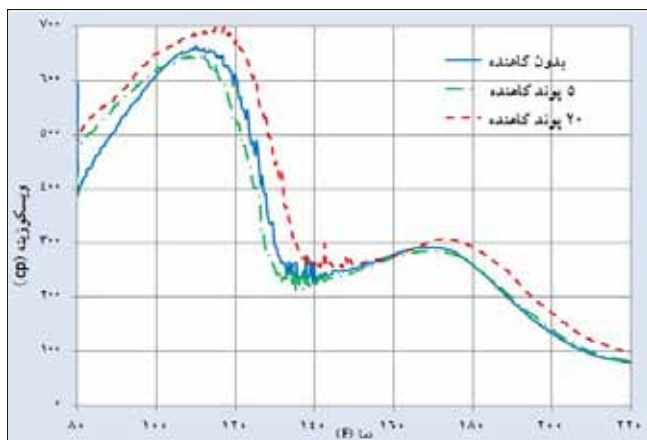
حد دمایی سیال ویسکوالاستیک به‌عنوان بیشترین دمایی که در آن گرانیروی سیال خنثی شده با کلسیم کلراید در نرخ برشی 1100 s^{-1} ، ۱۰۰ cp است تعریف می‌گردد. در این پژوهش برای اولین بار افزایش‌ی کاهنده‌ی یون آهن به‌عنوان راه‌حل مناسبی جهت برطرف کردن مشکل حضور یون فریک در سیال ویسکوالاستیک سورفکتانت معرفی شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد افزودن عامل کاهنده‌ی یون آهن موجب افزایش قابل توجه حد دمایی سیال منحرف‌کننده‌ی شامل یون فریک می‌گردد.

۱- روش کار

آزمایش‌های رئولوژی روی یک ویسکوالاستیک سورفکتانت جدید توسط دستگاه رئومتر دما و فشار زیاد در نرخ برشی ۱۰۰ بر ثانیه انجام شده است. در ادامه مواد به‌کار رفته و روش انجام آزمایش‌ها تشریح می‌گردد.

۱-۱- مواد مورد استفاده

تمامی سیالات با آب شیرین در دمای اتاق تهیه شده‌اند. در این پژوهش یک ویسکوالاستیک سورفکتانت تجاری استفاده شده است. همچنین

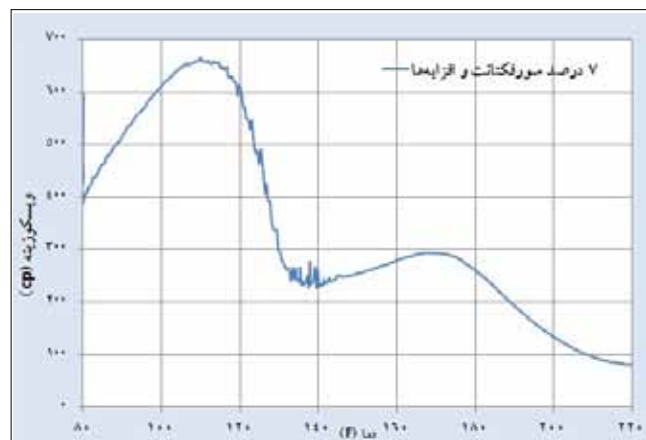


شکل ۲ | تاثیر حضور عامل کاهنده‌ی آهن در غیاب یون فریک

هنگامی که اسید با سنگ کربناته واکنش می‌دهد pH و یون‌های کلسیم و منیزیم افزایش می‌یابد. این افزایش باعث تشکیل زنجیره‌های طناب‌مانندی بین مولکول‌های سورفکتانت و در نتیجه افزایش شدید گرانیروی سیال و ایجاد خاصیت الاستیک می‌گردد. این زنجیره‌های طناب‌مانند در اثر تماس با هیدروکربن، حلال دوگانه یا استفاده از شکننده‌های داخلی به‌طور کامل شکسته می‌شوند [۱۲]. مطالعات نصرالدین و همکاران^{۱۰} نشان داد که نرخ تولید چاه‌های اسیدکاری شده با ویسکوالاستیک سورفکتانت‌ها تا حد قابل توجهی افزایش می‌یابد. همچنین این چاه‌ها در مدت زمان کمتری بعد از اسیدکاری تمیز شدند [۱۳]. سیالات ویسکوالاستیک هر دو خاصیت ویسکوز و الاستیک دارند. با این حال، افزودن افزایش‌های اسیدکاری و همچنین وجود آلودگی یون آهن می‌تواند اثرات مخربی بر رئولوژی آنها بگذارد.

تشکیل رسوب آهن یکی از جدی‌ترین مشکلات محتمل هنگام اسیدکاری است. تانک‌های ذخیره‌سازی و اختلاط، لوله‌ی بهره‌برداری و کانی‌های آهن‌دار می‌توانند منابع آهن موجود در اسید باشند. طبق پژوهش‌ها مقدار آهن هنگام تزریق اسید در سر چاه ۳۵۰۰-۲۰۰ پی‌پی‌ام و سیال برگشتی حین تمیزسازی حاوی تا ۱۰۰۰۰۰ پی‌پی‌ام یون آهن است [۱۴].

وجود یون آهن (Fe^{3+}) یا همان یون فریک می‌تواند منجر به کاهش گرانیروی اسید خنثی شود. پژوهشگران بسیاری تأثیر وجود یون فریک بر سازگاری اسید و همچنین رئولوژی اسید خنثی شده را بررسی کرده‌اند. ال‌نخلی و همکاران^{۱۱} تأثیر یون فریک بر سیال ویسکوالاستیک در شرایط محیطی را مطالعه نموده‌اند [۱۵]. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که جدایش فازی و رسوب سورفکتانت در اثر افزودن یون فریک به اسید به‌وجود می‌آید که به نوع سورفکتانت و افزایش‌ی ضدخوردگی استفاده شده بستگی دارد. همچنین لی و همکاران^{۱۲} جدایش فازی و رسوب سورفکتانت در سیال اسیدی شامل ویسکوالاستیک سورفکتانت و ۳۰۰۰ پی‌پی‌ام یون فریک را مشاهده کردند. طبق یافته‌های لی، افزودن یون فریک باعث افزایش گرانیروی اسید در دماهای کم و کاهش شدید گرانیروی اسید خنثی شده در دماهای زیاد می‌شود [۱۶].



شکل ۱ | ویسکوزیته ۷ درصد سورفکتانت به‌همراه افزایش‌ها در نرخ برشی 100 s^{-1}

درجه‌ی فانهایت دارد که گرانیوی آنها به ترتیب ۶۶۵ و ۲۹۳ سانتی‌پویز است. گرانیوی در دماهای بیشتر از ۱۷۰ درجه‌ی فانهایت کاهش یافته و در ۲۲۰ درجه‌ی فانهایت به ۸۰ سانتی‌پویز می‌رسد.

۲-۲- تأثیر عامل کاهنده‌ی یون آهن در غیاب یون فریک

در این قسمت اثر افزودن عامل کاهنده‌ی یون آهن بر نمودار گرانیوی در غیاب یون فریک بررسی می‌شود. شکل-۲ تأثیر عامل کاهنده‌ی آهن بر نمودار گرانیوی سیال منحرف‌کننده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود افزودن ۵ پوند در هزار گالن سیال تأثیر چندانی بر نمودار گرانیوی ندارد. اما با افزودن ۲۰ پوند عامل کاهنده‌ی آهن، نمودار گرانیوی مقدار کمی به دماهای بیشتر منتقل می‌شود؛ به طوری که حد دمایی سیال از ۲۰۸ به ۲۱۸ درجه‌ی فانهایت افزایش می‌یابد.

۲-۳- تأثیر یون فریک

شکل-۳ تأثیر حضور یون فریک در محلول بر گرانیوی ویسکوالاستیک سورفکتانت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود افزودن تا ۵۰۰ پی‌پی‌ام یون فریک تأثیر چندانی بر نمودار گرانیوی ندارد. می‌توان نتیجه گرفت یک درصد حجمی افزایش‌ی کی‌لیت‌کننده‌ی آهن به خوبی توانسته مشکل حضور این مقدار یون فریک را کنترل کند. با افزودن یون فریک به ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام نمودار گرانیوی به شدت تحت تأثیر قرار گرفته و به دماهای کمتر منتقل می‌شود. به طوری که حد دمایی از ۲۰۸ به ۱۴۸ درجه‌ی فانهایت کاهش می‌یابد. بنابراین حضور ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام یون فریک گرانیوی سیال را در دماهای بالا به شدت کاهش می‌دهد به نحوی که گرانیوی در دماهای بیشتر از ۱۶۰ درجه‌ی فانهایت کمتر از ۱۵ سانتی‌پویز است.

هنگامی که یون فریک به محلول اضافه می‌شود با مولکول‌های ویسکوالاستیک سورفکتانت، ترکیبی شیمیایی تشکیل می‌دهد و سورفکتانت موجود برای تشکیل ساختار طناب‌مانند کاهش می‌یابد. این امر باعث کاهش گرانیوی

افزایش‌های لازم شامل افزایش ضدخوردگی، افزایش شکننده‌ی امولسیون، کی‌لیت‌کننده‌ی آهن، متانول و عامل کاهنده‌ی یون آهن از برندهای تجاری موجود انتخاب شدند. کلسیم کلراید و فریک کلراید آزمایشگاهی نیز جهت تهیه‌ی سیال خنثی و افزودن یون فریک به کار رفتند.

۲-۱- نحوه‌ی تهیه‌ی سیال ویسکوالاستیک خنثی

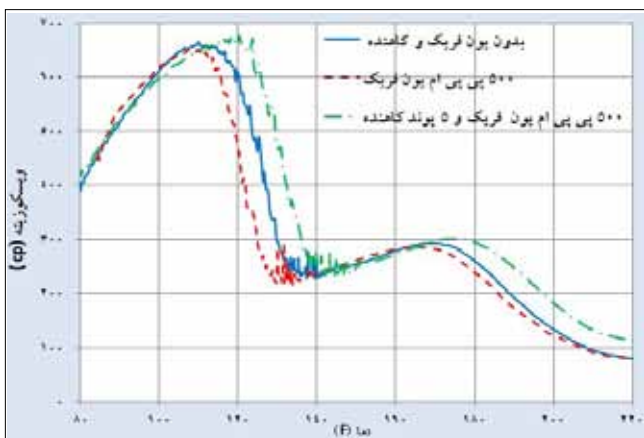
در این مطالعه روش خنثی^{۱۵} جهت اندازه‌گیری گرانیوی سیالات مختلف استفاده شده است. در این روش محصولات واکنش اسید در سیال حضور دارند که مهم‌ترین آنها کلسیم کلراید است. در ابتدا مقدار کلسیم کلراید مورد نیاز به آب اضافه می‌گردد و توسط یک هم‌زن مغناطیسی به خوبی هم‌زده می‌شود. سپس ۰/۳ درصد حجمی افزایش‌ی ضدخوردگی، ۰/۲ درصد شکننده‌ی امولسیون، یک درصد کی‌لیت‌کننده‌ی آهن و یک درصد متانول به مخلوط اضافه می‌گردد. در انتها نیز ۷ درصد حجمی سورفکتانت به سیال تهیه شده اضافه می‌شود. با توجه به اینکه اسید ۱۵ درصد در نظر گرفته شده باید مقدار وزنی کلسیم کلراید در محلول نهایی بر اساس استوکیومتری واکنش ۲۰/۵ درصد باشد. گرانیوی محلول آماده‌شده توسط دستگاه رئومتر در فشار ۵۰۰ psi و تحت نرخ برشی ۱۰۰ در محدوده‌ی دمایی ۲۲۰-۸۰ درجه‌ی فانهایت اندازه‌گیری می‌شود.

۲-۲- نتایج و بحث

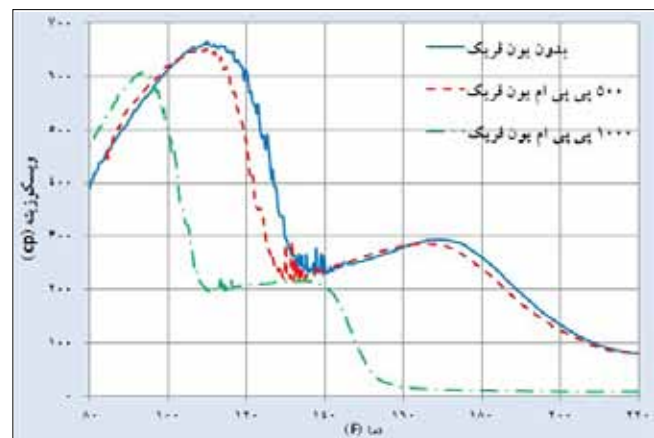
در این قسمت نتایج حاصل از آزمایش‌های رئولوژی انجام شده و تأثیر آنها بر شکل نمودار گرانیوی و مقدار آن بررسی می‌شود.

۲-۱- نمودار گرانیوی سیال حاوی ۷ درصد ویسکوالاستیک سورفکتانت

شکل-۱ نمودار گرانیوی ویسکوالاستیک سورفکتانت حاوی افزایش‌های اسیدکاری بر حسب دما را نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های شکل-۱ نمودار گرانیوی این سورفکتانت دو بیشینه‌ی دمایی در دماهای ۱۱۰ و ۱۷۰



شکل ۲ | تأثیر عامل کاهنده‌ی آهن در حضور ۵۰۰ پی‌پی‌ام یون فریک



شکل ۳ | تأثیر حضور غلظت‌های مختلف یون فریک بر نمودار گرانیوی

سیال می‌گردد. بنابراین با افزایش یون فریک مقدار بیشتری سورفکتانت درگیر ترکیب شیمیایی با این یون شده و گرانی، بیشتر کاهش می‌یابد. در عملیات‌های اسیدکاری و هنگامی که مقدار یون فریک زیاد پیش‌بینی می‌شود تمیز کردن تجهیزات قبل از آماده‌سازی سیال اسیدکاری و انجام عملیات پیکینگ^{۱۶} به‌شدت توصیه می‌گردد.

۲-۴- تأثیر عامل کاهنده یون آهن در حضور یون فریک

عامل کاهنده یون آهن فریک را به فروس^{۱۷} تبدیل می‌کند که در pH حدود ۷ رسوب نمی‌کند. در این پژوهش برای اولین بار از عامل کاهنده یون آهن جهت برطرف کردن مشکلات حضور یون فریک استفاده شده است. شکل-۴ تأثیر افزودن ۵ پوند عامل کاهنده در هزار گالن سیال شامل ۵۰۰ پی‌پی‌ام یون فریک را نشان می‌دهد.

بر اساس شکل-۴ افزودن ۵ پوند عامل کاهنده یون آهن نمودار گرانی را مقداری به دماهای بیشتر منتقل می‌کند؛ به طوری که در دمای ۲۲۰ درجه‌ی فارنهایت گرانی از ۸۰ به ۱۱۳ سانتی پوز افزایش می‌دهد. این امر نشان می‌دهد که افزودن مقدار کمی عامل کاهنده یون آهن به سیال حاوی ۵۰۰ پی‌پی‌ام یون فریک، پایداری دمایی سیال در دماهای زیاد را

افزایش می‌دهد. شکل-۵ تأثیر افزودن مقادیر مختلف عامل کاهنده به سیال شامل ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام یون فریک را نشان می‌دهد.

همچنین جدول-۱ تأثیر یون فریک و کاهنده یون آهن بر حد دمایی و گرانی نهایی سیال ویسکوالاستیک سورفکتانت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل-۵ و جدول-۱ دیده می‌شود افزودن ۵ پوند عامل کاهنده، حد دمایی سیال آلوده شده با ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام یون فریک را از ۱۴۸ به ۱۶۶ درجه‌ی فارنهایت افزایش می‌دهد. با افزودن عامل کاهنده یون آهن به ۱۰ پوند، نمودار گرانی به مقدار قابل توجهی به دماهای بیشتر منتقل می‌گردد. در این حالت حد دمایی به بیش از ۲۲۰ درجه‌ی فارنهایت افزایش یافته و گرانی نهایی در دمای ۲۲۰ درجه‌ی فارنهایت به ۱۳۷ سانتی پوز (۷۱ درصد) افزایش یافته است.

بر اساس شکل-۵ اضافه کردن مقدار کافی عامل کاهنده به سیال حاوی یون فریک نه تنها اثرات مخرب یون فریک را برطرف کرده بلکه گرانی سیال در دماهای بیشتر از ۱۸۰ درجه‌ی فارنهایت را تا حد زیادی افزایش می‌دهد. عامل کاهنده یون آهن، یون فریک را به یون فروس تبدیل کرده و مانع از تشکیل ترکیب شیمیایی بین سورفکتانت و یون فریک می‌شود. همچنین یون فروس در سیال افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد افزایش یون فروس در سیال باعث افزایش گرانی در دماهای بیشتر از ۱۸۰ درجه‌ی فارنهایت می‌گردد.

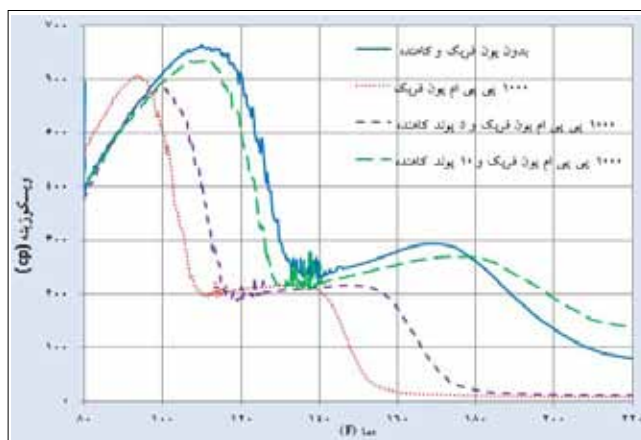
نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر یون فریک و عامل کاهنده یون آهن بر رئولوژی سیال ویسکوالاستیک سورفکتانت حاوی افزایش‌های اسیدکاری مطالعه شده و با توجه به داده‌ها، نتایج زیر حاصل گردید:

- گرانی سیال ۷ درصد حجمی ویسکوالاستیک سورفکتانت حاوی افزایش‌ها دو بیشینه در دماهای ۱۱۰ و ۱۷۰ درجه‌ی فارنهایت را از خود نشان می‌دهد.
- میزان کم کاهنده یون آهن تأثیری بر نمودار گرانی سیال ندارد. در حالی که با افزودن ۲۰ pptg عامل کاهنده، اثر مثبتی بر نمودار گرانی داشته؛ به طوری که مقداری آنرا به دماهای بیشتر منتقل می‌کند.
- افزودن یک درصد حجمی افزایش‌ی‌کننده یون آهن می‌تواند اثر منفی حضور یون آهن تا ۵۰۰ پی‌پی‌ام را برطرف کند.
- افزودن ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام یون فریک نمودار گرانی را به مقدار زیادی به دماهای کمتر منتقل می‌کند. همچنین حد دمایی سیال از ۱۴۸ به ۱۶۶ درجه‌ی فارنهایت کاهش می‌یابد.
- افزودن مقدار کافی عامل کاهنده یون آهن به سیال حاوی ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام یون فریک، نه تنها اثرات مخرب یون فریک بر گرانی سیال را برطرف می‌کند؛ بلکه حد دمایی سیال و مقدار گرانی در دماهای بیشتر از ۱۸۰ درجه‌ی فارنهایت را تا حد قابل توجهی افزایش می‌دهد. ■

۱ | تأثیر یون فریک و کاهنده یون آهن بر حد دمایی و گرانی نهایی سیال ویسکوالاستیک سورفکتانت

نوع سیال	حد دمایی °F	گرانی نهایی (cp) در ۲۲۰ °F
بدون یون فریک و عامل کاهنده یون آهن	۲۰۸	۸۰
۵۰۰ ppm یون فریک و بدون عامل کاهنده یون آهن	۲۰۷	۸۱
۵۰۰ ppm یون فریک و ۵ pptg عامل کاهنده یون آهن	بیش از ۲۲۰	۱۱۲
۱۰۰۰ ppm یون فریک و بدون عامل کاهنده یون آهن	۱۴۸	۸
۱۰۰۰ ppm یون فریک و ۵ pptg عامل کاهنده یون آهن	۱۶۶	۱۱
۱۰۰۰ ppm یون فریک و ۱۰ pptg عامل کاهنده یون آهن	بیش از ۲۲۰	۱۳۷



۵ | تأثیر عامل کاهنده یون آهن در حضور ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام یون فریک

پانویس ها

1. Diverter
2. Viscoelastic Surfactant (VES)
3. Iron Reducing Agent
4. Iron Chelating Agent
5. Temperature Limit
6. Pound per thousand gallon (pptg)
7. Wormhole
8. Hill and Rossen
9. Diffusivity coefficient
10. Nasr-El Din et al
11. Al Nakhli et al
12. Li et al
13. Shu et al
14. Zebarjad et al
15. Spent method
16. Pickling
17. Ferrous

منابع

- [1] Coulter, G.R., and Jennings Jr., A.R. "A Contemporary Approach to Matrix Acidizing" in: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, 1997.
- [2] Hill, A.D. and Rossen, W.R. "Fluid Placement and Diversion in Matrix Acidizing" in: University of Tulsa Centennial Petroleum Engineering Symposium, Society of Petroleum Engineers, 1994.
- [3] Conway, M. W., Asadi, M., Penny, G. S., and Chang, F. "A Comparative Study of Straight/Gelled/Emulsified Hydrochloric Acid Diffusivity Coefficient Using Diaphragm Cell and Rotating Disk", in: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, 1999.
- [4] Taylor, K.C. and Nasr-El-Din, H.A. "Coreflood Evaluation of In-Situ Gelled Acids", in: International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, Society of Petroleum Engineers, 2002.
- [5] Taylor, K.C. and Nasr-El-Din, H.A. "Laboratory Evaluation of In-Situ Gelled Acids for Carbonate Reservoirs", SPE journal, vol.8, pp.4262003 ,434-.
- [6] Gomma, A.M. and Nasr-El-Din, H.A. "New Insights into the Viscosity of Polymer-Based In-Situ-Gelled Acids", SPE Production & Operations, Vol. 25, pp: 3672010 ,375-.
- [7] Jack D. L., Nasr-El-Din, H.A., "A Core Based Comparison Of The Reaction Characteristics Of Emulsified And In-Situ Gelled Acids In Low Permeability, High Temperature, Gas Bearing Carbonates", in: SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, Society of Petroleum Engineers, 2001.
- [8] Abdel Fattah, W., Nasr-El-Din A.H., Moawad, T., Elgibaly, A., "Effects of Crosslinker Type and Additives on the Performance on In-Situ Gelled Acids", in: SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, Society of Petroleum Engineers, 2008.
- [9] Mohamed, S.K., Nasr-El-Din, H.A., and Al-Furaidan, Y.A. "Acid Stimulation of Power Water Injectors and Saltwater Disposal Wells in a Carbonate Reservoir in Saudi Arabia: Laboratory Testing and Field Results", in: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, 1999.
- [10] Crews, J.B. "Internal Phase Breaker Technology For Viscoelastic Surfactant Gelled Fluids", in: SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, Society of Petroleum Engineers, 2005.
- [11] Lungwitz, B., Fredd, C., Brady, M., Miller, M., Ali, S., and Hughes, K. "Diversion and Cleanup Studies of Viscoelastic Surfactant-Based Self-Diverting Acid", SPE Production & Operations, Vol. 22, pp: 1212007 ,127-.
- [12] Chang, F., Qu, Q., and Frenier, W. "A Novel Self-Diverting-Acid Developed for Matrix Stimulation of Carbonate Reservoirs", in: SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, Society of Petroleum Engineers, 2005.
- [13] Nasr-El-Din, H. A., Alhabib, N. S., Al-Mumen, A.A., Jemmali, M., and Samuel, M. "A New Effective Stimulation Treatment for Long Horizontal Wells Drilled in Carbonate Reservoirs", SPE Production & Operations, Vol. 23, pp: 3302006 ,338-.
- [14] Gougler Jr., P.D., Hendrick, J.E., and Coulter, A.W. "Field Investigation Identifies Source and Magnitude of Iron Problems" in: SPE Production Operations Symposium, Society of Petroleum Engineers, 1985.
- [15] Al-Nakhli, A. R., Nasr-El-Din, H.A., Al-Baiyat, A.A. "Interactions of Iron and Viscoelastic Surfactants During Well Stimulation: A New Formation Damage Mechanism", in: SPE Saudi Arabia section Young Professionals Technical Symposium, Society of Petroleum Engineers, 2008.
- [16] Li, L., Nasr-El-Din, H. A., Crews, J. B., and Cawiezel, K. E. "Rheological Properties of a New Class of Viscoelastic Surfactant", SPE Production & Operations, Vol. 25, pp: 3552010 ,366-.
- [17] Shu, Y., Wang, G., Nasr-El-Din, H. A., and Zhou, J. "Interactions of Fe(III) and Viscoelastic-Surfactant-Based Acids", SPE Production & Operations, Vol. 31, pp: 29-2016 .46.
- [18] Zebarjad, F. S., Nasr-El-Din, H. A., and Badraoui, D. A. "Effect of Fe III and Chelating Agents on Performance of New VES-Based Acid Solution in High-Temperature Wells", SPE International Conference on Oilfield Chemistry, Society of Petroleum Engineers, 2017.